

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-336700

(43)Date of publication of application : 17.12.1993

(51)Int.Cl.

H02K 7/12

B60L 11/18

H02K 21/14

(21)Application number : 04-166941

(71)Applicant : FUJI ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 01.06.1992

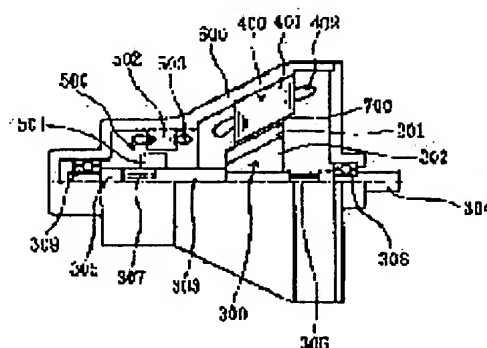
(72)Inventor : KINOSHITA SHIGENORI  
YANASE TAKAO  
FUJITA KOETSU  
ITO YOSHIO  
KUROKAWA YOSHIO

## (54) AC MOTOR FOR DRIVING ELECTRIC CAR

(57)Abstract:

PURPOSE: To improve the total efficiency of a whole system including an AC motor for driving an electric car and an inverter.

CONSTITUTION: An AC motor for driving an electric car is driven by an inverter with a battery as a power supply. A permanent magnet type synchronous motor which has field poles having permanent magnets 301 on its rotor 300 side is used as the AC motor. If the revolution is increased, a field pole shifter 500 is operated to increase the length of gaps 700 between the permanent magnets 301 and reduce the flux.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The AC motor for an electric vehicle drive which is a synchronous motor with which said motor equipped the rotator side with the field pole which has a permanent magnet in the AC motor for an electric vehicle drive driven with an inverter by using a cell as a power source, and is characterized by the opening length between said field poles and stator cores being adjustable according to a rotational frequency.

[Claim 2] The AC motor for an electric vehicle drive characterized by having field pole migration equipment which is made to move the field pole to shaft orientations, and makes opening length adjustable in the AC motor for an electric vehicle drive according to claim 1.

[Claim 3] The AC motor for an electric vehicle drive according to claim 2 which controls the shaft-orientations migration length of the field pole by field pole migration equipment to become the opening length according to a rotational frequency.

[Claim 4] The AC motor for an electric vehicle drive characterized by moving the field pole to radial and making opening length adjustable in the AC motor for an electric vehicle drive according to claim 1.

[Claim 5] The AC motor for an electric vehicle drive according to claim 4 with which make the field pole movable according to the centrifugal force generated with rotation of a rotator, and opening length was made to increase with this migration.

[Claim 6] A rotator is an AC motor for an electric vehicle drive according to claim 5 equipped with the spring which produces applied force in the direction which opposes the centrifugal force generated with the rotation.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the so-called permanent magnet form synchronous motor of revolving field type in detail about the AC motor for a wheel drive of an electric vehicle.

[0002]

[Description of the Prior Art] Drawing 5 is the well-known main circuit system of the electric vehicle which uses a cell as a power source and drives a wheel with an AC motor through an inverter. In drawing, 1 is a cell, carries out need number series connection of the unit cell 10, and is constituted. 4 is an inverter and drives AC motor 5 for a wheel drive. 3 is a protection fuse and is used if needed. 2 is a main switch and is for connecting electrically or separating a cell 1 and an inverter 4. The shaft of a motor 5 is connected with a differential gear 7 through a reducer 6, and drives wheels 81 and 82. Many induction motors which are excellent in a price, the engine performance, and maintainability as AC motor 5 are used.

[0003] Now, the engine performance as it of an engine automobile in which an electric vehicle is almost the same is required. An example of the torque-rotational frequency property of the motor for a drive is shown in drawing 6. drawing 6 — a rotational frequency 0 — N1 \*\*\*\*\* — torque regularity — it is — N1 — a high speed — if — it is a property used as a constant output. In this drawing, when the amount of accelerator pedal treading in of \*\* is max, \*\* is min and \*\* is a property in that middle. System efficiency is in one of the important evaluation criteria of an electric vehicle. This is equivalent to the fuel consumption of an engine automobile. The size of this system efficiency influences the 1 charge mileage of an electric vehicle greatly. In the case of an electric vehicle as well as an engine automobile, to fixed-speed transit, a motor output drops to several [ of the maximum output at the time of acceleration / 1/ ] small mostly. And there is much such operation time. Therefore, raising the system efficiency of an electric vehicle is concluded as how the effectiveness in the low-power output range is raised. Here, there are a motor and an inverter as a main circuit device which influences system efficiency.

[0004] Drawing 7 and drawing 8 show the well-known example of efficient control of an induction motor. What is necessary is just to control torque by the electrical potential difference and current from which a well head is acquired according to the amount of treading in of an accelerator pedal, since the torque of an induction motor is decided by the electrical potential difference and the current. In drawing 7 R> 7 and drawing 8, \*\*, \*\*, and \*\* are the same as the case of drawing 6. According to the amount of pedal treading in, an electrical potential difference is changed like drawing 7, and a current is also carried out like drawing 8 according to this electrical potential difference.

[0005] However, even if it controls like drawing 7 and drawing 8, as long as an induction motor is used for the motor for a wheel drive, the exciting current of a motor must be supplied from a motor current. In the case of an induction motor, the value of the motor current itself will become [ this exciting current ] comparatively large (for example, when a power-factor is 0.7, it amounts also to 1/root2 of a motor current) greatly. Moreover, generating loss of an inverter is carried out proportionally [ outline ] at an inverter output current value (it is the same as the current value of a motor). Therefore, there is a limitation in improvement in system efficiency by the induction motor method. The system which applied the synchronous motor with which an exciting current becomes unnecessary as a means to solve such

a trouble, and which constituted the magnetic pole with the permanent magnet is proposed.

[0006] Drawing 9 is the well-known example of the field pole (revolving field type) of a permanent magnet form synchronous motor. In drawing, 100 is the field pole and the permanent magnet magnetized by N pole and the south pole so that 101 might be illustrated. Moreover, 102 is a magnetic pole and 103 is a nonmagnetic magnetic pole base material. It is made to become the same, for example, is made, as for the polarity of the magnetic pole 102 of the adjoining field pole 100, for N pole to adjoin the south pole and N pole at the south pole. 104 is a binding head and is for fixing so that the field pole 100 may not move by the centrifugal force.

[0007] Drawing 10 is the sectional view of the shaft orientations of drawing 9. 106 is a rotor axis, 200 is a stator, in 201, a stator core and 202 show a stator winding and 300 shows a motor frame. The synchronous motor using the conventional permanent magnet has structure which replaced the rotator of an induction motor with the rotator of a permanent magnet form as shown in drawing 10.

[0008] Even if it applies such a permanent magnet form synchronous motor to an electric vehicle, a big trouble which is described below remains.

1) Since the field magnetic flux of a synchronous motor is made with the permanent magnet, the magnitude of field magnetic flux is almost fixed.

2) Since field magnetic flux is almost fixed, a motor electrical potential difference is proportional to a rotational frequency, and the motor maximum electrical potential difference serves as a property generated in a maximum engine speed.

[0009] 3) As a result of the above 2, the motor electrical potential difference in a low rotational frequency field becomes very small, and, for this reason, a current becomes very large. Here, drawing 11 shows an induction motor and a permanent magnet form synchronous motor by comparison about the motor electrical potential difference E, Current I, Torque T, and magnetic flux  $\phi$ , a continuous line shows an induction motor and a broken line shows a synchronous motor. As shown in this drawing, the synchronous motor current at the time of a low speed (0 - N1) reaches by several times the induction motor.

[0010] 4) Since generating loss of the copper loss of the coil of a motor or an inverter increases with increase of the current by the above 3, in a permanent magnet form synchronous motor, system efficiency will fall rather than an induction motor method.

5) Furthermore, it is rare to drive an electric vehicle in a high-speed region, and since many effectiveness is operated in low [ low ] and a medium-speed region, in the case of a permanent magnet method, the use effectiveness of a current will also get worse, and 1 charge mileage will also fall to it.

[0011] On the other hand, the approach of controlling the magnetic flux of a permanent magnet form synchronous motor by the stator winding current is also proposed. Drawing 12 shows the principle of operation of this approach with a vector diagram. The magnetic flux from which a permanent magnet makes  $\phi_M$  in this drawing, the component to which magnetic flux and  $I_T$  cross at right angles among stator winding currents, the component which flows in the direction in which  $I_E$  similarly demagnetizes magnetic flux, the magnetic flux from which  $\phi_E$  is made by  $I_E$ , and  $I$  are stator winding currents. In this drawing, by  $I_E$ , magnetic-flux  $\phi_M$  can weaken only  $\phi_E$  and is set to  $\phi$  from  $\phi_M$ . In the demagnetization control by this stator current, a power-factor serves as the current  $I$  of  $\cos\theta$  from the current  $I_T$  of the unity power factor of the direction where magnetic flux and a stator winding current cross at right angles, and, naturally this current  $I$  becomes large from Current  $I_T$ .

[0012] Drawing 13 makes actuation of drawing 12 correspond to the property of drawing 11, and shows relation with a rotational frequency. In this drawing, since magnetic flux is  $\phi = \phi_M$ , although currents are  $I = I_T$  and power-factor  $\cos\theta = 1$ , if a rotational frequency increases from N1, they will increase [ N / 0 - ]  $\phi_E$  in order to weaken  $\phi$ . That is,  $I_E$  is increased. For this reason, while the stator winding current  $I$  increases greatly from  $I_T$ , power-factor  $\cos\theta$  also decreases greatly. Although the problem in the low-speed area of the 3rd above-mentioned term is solved by this method as stated above, the technical problem that the system efficiency in a high-speed region is raised is not solved.

[0013] Furthermore, since control of a stator winding current is performing eye magnetic-flux weakness by this method, the following big problem occurs.

6) If the inverter for a motor drive is suspended during high-speed transit, a magnetic-flux weak control function loses, it will become the magnetic flux of a permanent magnet, a big electrical potential difference (several times of rating) will occur in a stator winding, and magnetic flux will result in

semiconductor device destruction of an inverter depending on about [ being accompanied by risk ] and the case. Furthermore, if the electrical potential difference more than the maximum alternating voltage which an inverter may output has occurred in the stator winding, it will become difficult to restart an inverter and it will pose a very big problem for an electric vehicle drive system.

[0014]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In the electric vehicle, improvement in system efficiency has been a very big technical problem to all operations, and efficient-ization of the motor for a drive in all the operating speed range at the time of using a permanent magnet form synchronous motor for the motor for a drive especially and an inverter is demanded. The place which it was made in order that this invention might solve the above-mentioned technical problem, and is made into the purpose is to offer the AC motor for an electric vehicle drive which the system efficiency containing the motor for a drive and an inverter can improve [ large ].

[0015]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, the 1st invention uses a cell as a power source, considers as the synchronous motor equipped with the field pole which has a permanent magnet for the AC motor for an electric vehicle drive driven through an inverter in a rotator side, increases the opening length between the field pole and a stator core with increase of a rotational frequency, and decreases field magnetic flux.

[0016] The 2nd invention forms field pole migration equipment in a motor, moves the field pole (rotator) to shaft orientations with increase of a rotational frequency with this migration equipment, and increases said opening length. The 3rd invention increases said opening length by moving the field pole to radial using the centrifugal force produced in a rotator with rotational frequency increase of a rotator.

[0017]

[Function] In the 1st thru/or the 3rd invention, the opening length of the field pole of a rotator and a stator core increases with increase of a rotational frequency. In this way, since the magnetic reluctance of the magnetic path of the field pole will increase and magnetic flux will decrease if an opening increases, a predetermined demagnetization operation can be acquired. In addition, the opening length after increase is set as a value from which magnetic flux necessary [ according to a rotational frequency ] is acquired.

[0018]

[Example] Hereafter, the example of each invention is explained along drawing. Drawing 1 shows the 1st and one example of the 2nd invention, and shows the sectional view of the motor concerning this invention. In drawing, 300 is a rotator which constitutes the field pole and is constituted by a permanent magnet 301, a magnetic pole 302, and the rotor axis 303. In this example, in order to make movable to shaft orientations the field pole (rotator 300) which consists of a permanent magnet 301 and a magnetic pole 302, the both ends of a rotor axis 303 are combined with other shafts 304,305 which have bearing 308,309 by the coupling means 306,307 movable to shaft orientations, for example, a spline.

[0019] 400 is a stator and is constituted by the stator core 401 and the stator winding 402. This stator 400 is fixed to the motor frame 600. In order to make the opening length between a permanent magnet 301 and a stator core 401 the opening 700 between a rotator 300 and a stator 400 change with migration of the shaft orientations of a rotator 300, as shown in drawing, the peripheral face of a permanent magnet 301 and the inner skin of a stator core 401 are formed in a cone form. In the example of illustration, if a rotator 300 moves rightward, opening length will increase.

[0020] Moreover, 500 is field pole migration equipment for moving \*\*\*\*\*, as a result a rotator 300 to shaft orientations, and is constituted by the magnetic pole 501 fixed to the rotor axis 303, the stator core 502, and the stator winding 503. As the operation, by passing a current to a coil 503, the rotator magnetic pole 501 is made to generate the force of tending toward shaft orientations (right), the rotator 300 whole is moved rightward to it by this, and the field pole is moved rightward to it as the result. In addition, in drawing 1 R> 1, about the attachment structure to the car body of a motor, or the lead wire of a coil, since it is not the principal part of this invention, illustration and explanation have been omitted.

[0021] Drawing 2 is the explanatory view of drawing 1 of operation, and the same component as drawing 1 has attached the same sign. It is placed between a part of magnetic paths of the permanent magnet 301 of the field pole by the opening 700, and a rotator 300 moves through a spline 306,307 in this

example to the location where opening length serves as min at the time of usual. That is, in the example of illustration, it moves leftward. Thereby, a rotor axis 303 moves leftward and migration suspends it in the location where the edge of a rotor axis 303 contacted the A section of a shaft 305. At this time, the opening length between a stator core 401 and the field pole is set to  $g_0$  like illustration, and magnetic flux serves as max in this condition. That is, it is equivalent to the condition of having generated the magnetic flux to the rotational frequency 0 in drawing 11 - N1.

[0022] In order to weaken magnetic flux, a current is moved to a sink and a rotator 300 is moved rightward to the stator winding 503 of field pole migration equipment 500. The case where only  $L_x$  makes it move to shaft orientations (right) is shown in drawing 2. In addition, it is in the condition after a continuous line moves to the condition before migration and only  $L_x$  moved the broken line to shaft orientations in this drawing. Since applied force does not occur to migration equipment 500 if a current is not passed to the above-mentioned stator winding 503, the edge of a shaft 305 and the edge of a rotor axis 303 will be in the condition of having contacted in the A point.

[0023] If a current is passed to a coil 503 with the increment in a rotational frequency and applied force is generated, a rotator 300 will move rightward to the point that the applied force by field pole migration equipment 500 and the reaction force generated in an opening 700 balance. In drawing 2, a rotator 300 moves only distance  $L_x$ , the opening length at this time serves as  $g_x$ , and magnetic flux decreases. Here, to maintain migration length  $L_x$ , since  $L_x$  and  $g_x$  have a fixed relation, field pole migration equipment 500 controls to a predetermined value so that the magnetic flux according to a rotational frequency is acquired by the opening length  $g_x$  which is controlled and corresponds. In addition, a detailed explanation is omitted about the control approach.

[0024] Since it is not based on the approach of performing demagnetization control by making a stator winding current increasing like conventional drawing 12 according to this example, decline in a power-factor can be prevented. Moreover, since there is also no possibility that a magnetic-flux weak control function may lose by halt of the inverter which drives this motor, there is also no danger that an excessive electrical potential difference will occur in a stator winding 402.

[0025] Next, drawing 3 is the sectional view of the motor in which the 1st and one example of the 3rd invention are shown. In drawing, 350 is a rotator and is constituted by the permanent magnet 351 and magnetic pole 352 which constitute the field pole, and the rotor axis 353. 450 is a stator and is constituted by a stator core 451 and the stator winding 452. Here, while the sliding section 354 is formed in the rotator 350 so that the field pole can move to radial (direction upward in drawing), the spring 356 is inserted between the rotator edge 355 and the magnetic pole 352.

[0026] Moreover, also in this example, the opening 750 is formed between the permanent magnet 351 and the stator core 451. In this example, as shown in drawing, when the field pole moves to radial, in order to make it the die length of an opening 750 change, the opposed face of a permanent magnet 351 and a stator core 451 is made into the cone form. Thereby, in the example of illustration, if the field pole moves to radial, opening length will increase.

[0027] Drawing 4 is the explanatory view of drawing 3 of operation. The same number is given to the same component as drawing 3. Like the case of drawing 2, the field pole moves the sliding section 354 toward the core (rotor axis 353) of a radius so that the opening length between a permanent magnet 351 and a stator core 451 may serve as min (the example of illustration facing down). And the field pole stops in the B point of drawing where the edge of a magnetic pole 352 and the edge of the sliding section 354 contact, and the opening length at this time is set to  $g_0$ . If a rotator 350 rotates, the centrifugal force of the direction of an arrow head of illustration will act on the field pole. If this centrifugal force increases with the increment in a rotational frequency and the field pole moves to radial, opening length will increase and the increase of magnetic reluctance and magnetic flux will decrease.

[0028] Since the force in which the applied force from which opening length tends to become min to the field pole as mentioned above on the other hand tends to work to an opposite direction with an arrow head, and tends to return the field pole in the direction opposite to an arrow head at a spring 356 acts, the field pole will move to the point that such applied force balances. The migration length of the example of illustration is the case where  $L_x$  and opening length have balanced in the state of  $g_x$ .

[0029] In addition, in the example of drawing 3, illustration and explanation of the attachment structure to the car of a motor, the lead wire of a coil, etc. are omitted like drawing 1. What is necessary is to

insert the spring 356 in the example of drawing 3 , since it supplements with this, and to insert it, only when required since magnetic flux decreases with increase of opening length and the stability (applied force of the opposite sense of the arrow head of drawing 4 ) of the field pole decreases.

[0030] Since according to this example the field pole moves automatically according to a centrifugal force and opening length changes compared with the example of drawing 1 even if it does not prepare field pole migration equipment 500 grade, simplification and thin shape-ization which could lightweight-ize and moreover met shaft orientations can be attained for the structure of a motor rather than the example of drawing 1 R> 1.

[0031]

[Effect of the Invention] Since the opening length between a stator core and the field pole is made adjustable according to a rotational frequency and this acquired necessary magnetic flux in the permanent magnet form synchronous motor for an electric vehicle drive according to this invention as mentioned above, there is the following effectiveness.

\*\* It is not based on the approach of controlling magnetic flux by the stator winding current, but since a stator winding current is set constant over all the operating speed range from a low speed to a high speed and a power-factor is made to 1.0, efficient operation can be performed in all the operating speed range.

\*\* power required for eye field weakness -- needlessness -- or it becomes minute and \*\* term and a conjointly more efficient system can be realized.

\*\* Since a demagnetization function is not lost even if the inverter for a motor drive stops, no risk of the high voltage occurring in a stator winding does not produce the trouble at the time of restarting an inverter, either, while there is and it can aim at protection of a device.

---

[Translation done.]



**\* NOTICES \***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the block diagram of the principal part showing the 1st and one example of the 2nd invention.

[Drawing 2] It is the explanatory view of drawing 1 of operation.

[Drawing 3] It is the block diagram of the principal part showing the 1st and one example of the 3rd invention.

[Drawing 4] It is the explanatory view of drawing 3 of operation.

[Drawing 5] It is drawing showing the well-known main circuit system of an electric vehicle.

[Drawing 6] It is drawing showing the torque-rotational frequency property of the AC motor for an electric vehicle drive.

[Drawing 7] It is drawing showing the voltage characteristic of an induction motor.

[Drawing 8] It is drawing showing the current characteristic of an induction motor.

[Drawing 9] It is the block diagram of the principal part of a permanent magnet form synchronous motor.

[Drawing 10] It is the sectional view of the shaft orientations of drawing 9 .

[Drawing 11] It is drawing showing the electrical potential difference to the rotational frequency of an AC motor, a current, magnetic flux, and a torque characteristic.

[Drawing 12] It is the vector diagram of the conventional permanent magnet form synchronous motor.

[Drawing 13] It is drawing showing the rotational frequency property of the conventional permanent magnet form synchronous motor.

[Description of Notations]

300,350 Rotator

301,351 Permanent magnet

302,352 Magnetic pole

303,353 Rotor axis

304,305 Shaft

306,307 Spline

308,309 Bearing

354 Sliding Section

355 Rotator Edge

356 Spring

400,450 Stator

401,451 Stator core

402,452 Stator winding

500 Field Pole Migration Equipment

501 Magnetic Pole

502 Stator Core

503 Stator Winding

600,650 Motor frame

700,750 Opening

---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-336700

(43)公開日 平成5年(1993)12月17日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 2 K 7/12		6821-5H		
B 6 0 L 11/18	Z	6821-5H		
H 0 2 K 21/14	M	7429-5H		

審査請求 未請求 請求項の数6(全7頁)

(21)出願番号 特願平4-166941

(22)出願日 平成4年(1992)6月1日

(71)出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72)発明者 木下 繁則

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72)発明者 柳瀬 孝雄

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72)発明者 藤田 光悦

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(74)代理人 弁理士 森田 雄一

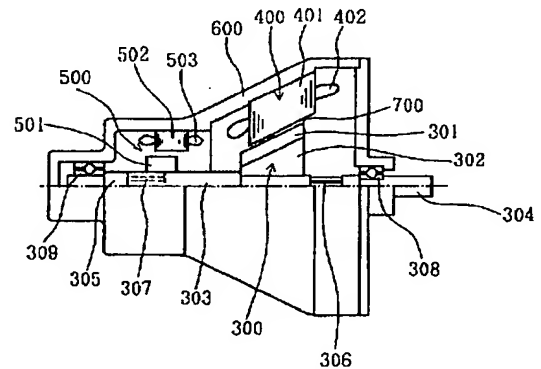
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電気自動車駆動用交流電動機

(57)【要約】

【目的】 電気自動車駆動用交流電動機及びインバータを含むシステム全体の効率を高める。すべての運転速度範囲において電動機の力率を1とする。

【構成】 電池を電源としてインバータにより駆動される電気自動車駆動用交流電動機において、前記電動機を、永久磁石301を有する界磁極を回転子300側に備えた永久磁石形同期電動機とする。回転数が高くなると界磁極移動装置500を作動させて永久磁石301と固定子鉄心401との間の空隙700の長さを大きくし、磁束を減少させる。



300:回転子 301:永久磁石 302:磁極  
303:回転子軸 304,305:軸 306,307:スプライン  
308,309:ベアリング 400:固定子 401:固定子鉄心  
402:固定子巻線 500:界磁極移動装置 501:磁極  
502:固定子鉄心 503:固定子巻線 600:電動機フレーム  
700:空隙

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電池を電源としてインバータにより駆動される電気自動車駆動用交流電動機において、前記電動機が、永久磁石を有する界磁極を回転子側に備えた同期電動機であり、回転数に応じて前記界磁極と固定子鉄心との間の空隙長が可変であることを特徴とする電気自動車駆動用交流電動機。

【請求項2】 請求項1記載の電気自動車駆動用交流電動機において、界磁極を軸方向に移動させて空隙長を可変とする界磁極移動装置を備えたことを特徴とする電気自動車駆動用交流電動機。

【請求項3】 回転数に応じた空隙長となるように界磁極の軸方向移動距離を界磁極移動装置により制御する請求項2記載の電気自動車駆動用交流電動機。

【請求項4】 請求項1記載の電気自動車駆動用交流電動機において、界磁極を半径方向に移動させて空隙長を可変とすることを特徴とする電気自動車駆動用交流電動機。

【請求項5】 回転子の回転に伴って発生する遠心力により界磁極を移動可能とし、この移動に伴って空隙長が増大するようにした請求項4記載の電気自動車駆動用交流電動機。

【請求項6】 回転子は、その回転に伴って発生する遠心力に対抗する方向に作用力を生じるスプリングを備えている請求項5記載の電気自動車駆動用交流電動機。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、電気自動車の車輪駆動用交流電動機に関し、詳しくは、いわゆる回転界磁形の永久磁石形同期電動機に関する。

【0002】

【従来の技術】 図5は、電池を電源とし、インバータを介して交流電動機により車輪を駆動する電気自動車の公知の主回路システムである。図において、1は電池であり、単位電池10を必要個数直列接続して構成されている。4はインバータであり、車輪駆動用交流電動機5を駆動する。3は保護ヒューズであり、必要に応じて用いられる。2は主スイッチであり、電池1とインバータ4とを電気的に接続し、または切断するためのものである。電動機5の軸は減速機6を介して差動装置7に連結され、車輪81、82を駆動する。交流電動機5としては価格、性能、保守性に優れている誘導電動機が多く用いられている。

【0003】 さて、電気自動車はエンジン自動車のそれとほぼ同じ性能が要求される。駆動用電動機のトルク-回転数特性の一例を図6に示す。図6は、回転数0～N<sub>1</sub>まではトルク一定であり、N<sub>1</sub>より高速では定出力となる特性である。この図において、①はアクセルペダル踏込量が最大の場合、③は最小、②はその中間の場合の特

性である。電気自動車の重要な評価項目の一つにシステム効率がある。これはエンジン自動車の燃費に相当するものである。このシステム効率の大小は電気自動車の一充電走行距離に大きく影響する。電気自動車の場合でもエンジン自動車と同様に、ほぼ定速走行では電動機出力は小さく加速時の最大出力の数分の1となる。しかもこのような運転時間が多い。従って、電気自動車のシステム効率を高めることは、低出力範囲での効率をいかに高めるかに帰結する。ここで、システム効率を左右する主回路機器としては、電動機とインバータとがある。

【0004】 図7、図8は誘導電動機の高効率制御の公知例を示す。誘導電動機のトルクは電圧と電流とによって決まるので、アクセルペダルの踏込量に応じて高効率を得られる電圧、電流でトルクを制御すればよい。図7、図8において、①、②、③は図6の場合と同じである。ペダル踏込量に応じて電圧を図7のように変え、この電圧に応じて電流も図8のようにする。

【0005】 しかし、図7、図8のように制御しても、車輪駆動用電動機に誘導電動機を使用する限り、電動機の励磁電流は電動機電流から供給しなければならない。誘導電動機の場合、この励磁電流が比較的大きく（例えば力率が0.7の場合、電動機電流の1/√2にも達する）、電動機電流そのものの値が大きくなってしまふ。また、インバータの発生損失はインバータ出力電流値（電動機の電流値と同じ）に概略比例する。従って、誘導電動機方式ではシステム効率の向上には限界がある。このような問題点を解決する手段として、励磁電流が不要となる、永久磁石により磁極を構成した同期電動機を適用したシステムが提案されている。

【0006】 図9は永久磁石形同期電動機の界磁極（回転界磁形）の公知例である。図において、100は界磁極、101は図示するようにN極とS極に着磁された永久磁石である。また、102は磁極、103は非磁性磁極支持体である。隣接する界磁極100の磁極102の極性は同じになるようにしてあり、例えば、S極にはS極、N極にはN極が隣り合うようにする。104はバインドであり、界磁極100が遠心力で動かないように固定するためのものである。

【0007】 図10は図9の軸方向の断面図である。106は回転子軸、200は固定子であり、201は固定子鉄心、202は固定子巻線、300は電動機フレームを示す。従来の永久磁石を用いた同期電動機は、図10に示すように誘導電動機の回転子を永久磁石形の回転子に代えた構造となっている。

【0008】 このような永久磁石形同期電動機を電気自動車に適用したとしても、次に述べるような大きな問題点が残っている。

- 1) 同期電動機の界磁磁束が永久磁石によって作られているため、界磁磁束の大きさがほぼ一定である。
- 2) 界磁磁束がほぼ一定であるため、電動機電圧は回転

数に比例し、電動機最大電圧は最高回転数で発生する特性となる。

【0009】3) 上記2)の結果、低回転数領域での電動機電圧は非常に小さくなり、このため電流が非常に大きくなる。ここで、図11は電動機電圧E、電流I、トルクT及び磁束Φに関し誘導電動機及び永久磁石形同期電動機を対比して示したものであり、実線が誘導電動機、破線が同期電動機を示す。同図に示すように、低速時(0~N<sub>1</sub>)の同期電動機電流は誘導電動機の数倍にも達する。

【0010】4) 上記3)による電流の増大に伴い、電動機の巻線の銅損やインバータの発生損失が増加するため、永久磁石形同期電動機では誘導電動機方式よりもシステム効率が低下してしまう。

5) 更に、電気自動車は高速域で運転されることは少なく、永久磁石方式の場合には、効率が低い低、中速域で多く運転されるため、電流の利用効率も悪化し、一充電走行距離も低下してしまう。

【0011】一方、永久磁石形同期電動機の磁束を固定子巻線電流によって制御する方法も提案されている。図12はこの方法の動作原理をベクトル図で示したものである。同図においてΦ<sub>M</sub>は永久磁石の作る磁束、I<sub>T</sub>は固定子巻線電流のうち磁束と直交する成分、I<sub>E</sub>は同じく磁束を減磁する方向に流れる成分、Φ<sub>E</sub>はI<sub>E</sub>によって作られる磁束、Iは固定子巻線電流である。同図において、I<sub>E</sub>により磁束Φ<sub>M</sub>はΦ<sub>E</sub>だけ弱められてΦ<sub>M</sub>からΦとなる。この固定子電流による減磁制御では、固定子巻線電流は磁束と直交する方向の力率1の電流I<sub>T</sub>から、力率がcosθの電流Iとなり、この電流Iも電流I<sub>T</sub>より当然大きくなる。

【0012】図13は、図12の動作を図11の特性に対応させて回転数との関係を示したものである。同図において、0~N<sub>1</sub>までは磁束はΦ=Φ<sub>M</sub>であるので、電流はI=I<sub>T</sub>、力率cosθ=1であるが、回転数がN<sub>1</sub>より増大すると、Φを弱めるためΦ<sub>E</sub>を増大させる。すなわちI<sub>E</sub>を増大させていく。このため、固定子巻線電流IはI<sub>T</sub>から大きく増大していくと共に、力率cosθも大きく減少していく。以上述べたようにこの方式では、前述の3)項の低速域での問題は解決されるが、高速域でのシステム効率を向上させるという課題は解決されない。

【0013】更に、この方式では磁束弱めを固定子巻線電流の制御により行っているため、次の大きな問題が発生する。

6) 高速走行中に電動機駆動用のインバータを停止すると、磁束弱め制御機能が喪失し、磁束は永久磁石の磁束となって固定子巻線に大きな電圧(定格の数倍)が発生し、危険を伴うばかりか、場合によってはインバータの半導体素子破壊に至る。更に、インバータが出力し得る最大交流電圧以上の電圧が固定子巻線に発生していると、インバータを再始動することが困難となり、電気自

動車駆動システムにとって非常に大きな問題となる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】電気自動車では、あらゆる運転に対してシステム効率の向上が非常に大きな課題となっており、特に、駆動用電動機に永久磁石形同期電動機を用いた場合の全運転速度範囲における駆動用電動機及びインバータの高効率化が要請されている。本発明は上記課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、駆動用電動機及びインバータを含むシステム効率の大幅な向上が可能な電気自動車駆動用交流電動機を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、第1の発明は、電池を電源とし、インバータを介して駆動される電気自動車駆動用交流電動機を、回転子側に永久磁石を有する界磁極を備えた同期電動機とし、回転数の増大に伴って界磁極と固定子鉄心との間の空隙長を増大させて界磁磁束を減少させるものである。

【0016】第2の発明は、界磁極移動装置を電動機内に設け、この移動装置により回転数の増大に伴って界磁極(回転子)を軸方向に移動させて前記空隙長を増大させるものである。第3の発明は、回転子の回転数増大に伴って回転子に生ずる遠心力を利用して、半径方向に界磁極を移動させることにより、前記空隙長を増大させるものである。

【0017】

【作用】第1ないし第3の発明においては、回転子の界磁極と固定子鉄心との空隙長が回転数の増大に伴って増大する。こうして空隙が増加すると界磁極の磁路の磁気抵抗が増大し、磁束が減少するため、所定の減磁作用を得ることができる。なお、増大後の空隙長は、回転数に応じた所要の磁束が得られるような値に設定される。

【0018】

【実施例】以下、図に沿って各発明の実施例を説明する。図1は第1及び第2の発明の一実施例を示すもので、本発明にかかる電動機の断面図を示している。図において、300は界磁極を構成する回転子であり、永久磁束301、磁極302、回転子軸303により構成される。本実施例では永久磁束301及び磁極302からなる界磁極(回転子300)を軸方向に可動とするため、回転子軸303の両端部はベアリング308、309を有する他の軸304、305に、軸方向に可動な結合手段、例えばスプライン306、307によって結合されている。

【0019】400は固定子であり、固定子鉄心401と固定子巻線402とによって構成されている。この固定子400は電動機フレーム600に固定される。回転子300と固定子400との間の空隙700は、回転子300の軸方向の移動に伴って永久磁石301と固定子鉄心401との間の空隙長が変わるようにするため、図

のように永久磁石301の外周面及び固定子鉄心401の内周面は円錐形に形成される。図示の例では、回転子300が右方向に移動すれば空隙長が増大することとなる。

【0020】また、500は界磁極ひいては回転子300を軸方向に移動させるための界磁極移動装置であり、回転子軸303に固定された磁極501と固定子鉄心502、固定子巻線503により構成されている。その作用としては、巻線503に電流を流すことにより、回転子磁極501に軸方向（右方向）に向かう力を発生させ、これにより回転子300全体を右方向へ移動させ、その結果として界磁極を右方向へ移動させる。なお、図1において、電動機の車体への取付構造や巻線のリード線等については本発明の主要部ではないため、図示及び説明を省略してある。

【0021】図2は、図1の動作説明図であり、図1と同一の構成要素は同一符号を付してある。本実施例では、界磁極の永久磁石301の磁路の一部に空隙700が介在しており、平常時には、回転子300は空隙長が最小となる位置までスプライン306、307を介して移動する。すなわち、図示の例では左方向へ移動する。これにより回転子軸303は左方向へ移動し、回転子軸303の端部が軸305のA部に当接した位置で移動が停止する。この時、固定子鉄心401と界磁極との間の空隙長は図示のように $g_0$ となり、この状態で磁束は最大となる。つまり、図11における回転数 $0 \sim N_1$ までの磁束を発生している状態に相当する。

【0022】磁束を弱めるには、界磁極移動装置500の固定子巻線503に電流を流し、回転子300を右方向へ移動させる。図2には、軸方向（右方向）に $L_x$ だけ移動させた場合を示してある。なお、同図において実線は移動前の状態、破線は軸方向に $L_x$ だけ移動させた後の状態である。上記固定子巻線503に電流を流さなければ移動装置500には作用力が発生しないので、軸305の端部と回転子軸303の端部とがA点で当接した状態となる。

【0023】回転数の増加に伴い巻線503に電流を流して作用力を発生させると、界磁極移動装置500による作用力と空隙700で発生する反作用力とがバランスする点まで回転子300は右方向に移動する。図2では回転子300が距離 $L_x$ だけ移動し、この時の空隙長が $g_x$ となって磁束が減少する。ここで、 $L_x$ と $g_x$ とは一定な関係にあるので、界磁極移動装置500は移動距離 $L_x$ を所定値に保つように制御され、対応する空隙長 $g_x$ により回転数に応じた磁束が得られるように制御を行う。なお、その制御方法については詳述を省略する。

【0024】本実施例によれば、従来の図12のように固定子巻線電流を増加させることによって減磁制御を行なう方法によらないため、効率の低下を防ぐことができる。また、この電動機を駆動するインバータの停止によ

り磁束弱め制御機能が喪失するおそれもないので、固定子巻線402に過大な電圧が発生する危険性もない。

【0025】次に、図3は第1及び第3の発明の一実施例を示す電動機の断面図である。図において、350は回転子であり、界磁極を構成する永久磁石351及び磁極352と、回転子軸353とにより構成される。450は固定子であり、固定子鉄心451、固定子巻線452によって構成される。ここで、回転子350には、界磁極が半径方向（図では上向き）に移動できるように摺動部354が設けられていると共に、回転子端部355と磁極352との間にはスプリング356が挿入されている。

【0026】また、この実施例においても、永久磁石351と固定子鉄心451との間に空隙750が形成されている。この実施例では、界磁極が半径方向に移動した時に空隙750の長さが変わるようにするため、永久磁石351及び固定子鉄心451の対向面を図のように円錐形としている。これにより、図示の例では界磁極が半径方向に移動すると空隙長が増大する。

【0027】図4は、図3の動作説明図である。図3と同一の構成要素には同一番号を付してある。図2の場合と同様に、界磁極は永久磁石351と固定子鉄心451との間の空隙長が最小となるように半径の中心（回転子軸353）に向かって摺動部354を移動する（図示の例では下向き）。そして、磁極352の端部と摺動部354の端部とが当接する図のB点で界磁極は停止し、この時の空隙長は $g_0$ となる。回転子350が回転すると、界磁極には図示の矢印方向の遠心力が作用する。この遠心力は回転数の増加に伴って増大し、界磁極が半径方向に移動すると空隙長が増大して磁気抵抗が増し、磁束が減少する。

【0028】一方、前述のように界磁極には空隙長が最小になろうとする作用力が矢印とは反対方向に働き、また、スプリング356には界磁極を矢印とは反対の方向に戻そうとする力が作用するので、これらの作用力がバランスする点まで界磁極は移動することになる。図示の例は、移動距離が $L_x$ 、空隙長が $g_x$ の状態でのバランスしている場合である。

【0029】なお、図3の実施例では、図1と同様に電動機の車両への取付構造や巻線のリード線等の図示及び説明を省略してある。図3の実施例におけるスプリング356は、空隙長の増大に伴って磁束が減少し界磁極の復元力（図4の矢印の反対向きの作用力）が減少するので、これを補足するために挿入するものであり、必要な場合にのみ挿入すればよい。

【0030】この実施例によれば、図1の実施例に比べて、界磁極移動装置500等を設けなくても界磁極が遠心力により自動的に移動して空隙長が変化するため、図1の実施例よりも電動機の構造を簡略化、軽量化することができ、しかも軸方向に沿った薄型化を図ることができ

きる。

# 【0031】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、電気自動車駆動用の永久磁石形同期電動機において、回転数に応じて固定子鉄心と界磁極との間の空隙長を可変とし、これにより所要の磁束を得るようにしたため、次のような効果がある。

- ①磁束を固定子巻線電流によって制御する方法によらず、低速から高速に至る全運転速度範囲にわたって固定子巻線電流を一定として力率を1.0にできるため、全運転速度範囲で高効率運転を行うことができる。
- ②界磁弱めに必要な電力は不要かまたは微小となり、①項と相俟ってより高効率なシステムを実現することができる。
- ③電動機駆動用のインバータが停止しても減磁機能は失われないので、固定子巻線に高電圧が発生する危険はなく、機器の保護を図ることができると共に、インバータを再始動する際の支障も生じない。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】第1及び第2の発明の一実施例を示す主要部の構成図である。

【図2】図1の動作説明図である。

【図3】第1及び第3の発明の一実施例を示す主要部の構成図である。

【図4】図3の動作説明図である。

【図5】電気自動車の公知の主回路システムを示す図である。

【図6】電気自動車駆動用交流電動機のトルク-回転数特性を示す図である。

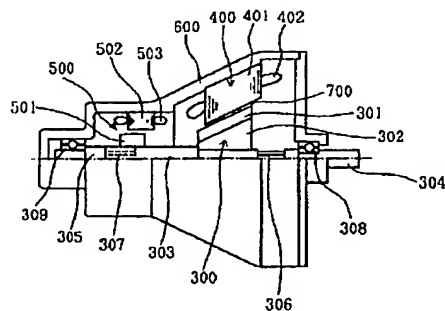
【図7】誘導電動機の電圧特性を示す図である。

示す図である。

## 【符号の説明】

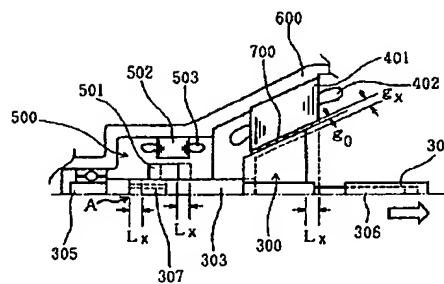
- |          |         |
|----------|---------|
| 300, 350 | 回転子     |
| 301, 351 | 永久磁石    |
| 302, 352 | 磁極      |
| 303, 353 | 回転子軸    |
| 304, 305 | 軸       |
| 306, 307 | スプライン   |
| 308, 309 | ベアリング   |
| 354      | 摺動部     |
| 355      | 回転子端部   |
| 356      | スプリング   |
| 400, 450 | 固定子     |
| 401, 451 | 固定子鉄心   |
| 402, 452 | 固定子巻線   |
| 500      | 界磁極移動装置 |
| 501      | 磁極      |
| 502      | 固定子鉄心   |
| 503      | 固定子巻線   |
| 600, 650 | 電動機フレーム |
| 700, 750 | 空隙      |

【図1】

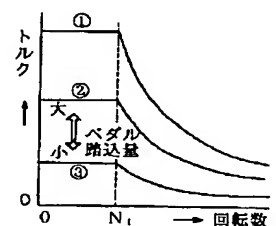


- |               |             |               |
|---------------|-------------|---------------|
| 300:回転子       | 301:永久磁石    | 302:磁極        |
| 303:回転子軸      | 304,305:軸   | 306,307:スプライン |
| 308,309:ベアリング | 400:固定子     | 401:固定子鉄心     |
| 402:固定子巻線     | 500:界磁極移動装置 | 501:磁極        |
| 502:固定子鉄心     | 503:固定子巻線   | 600:電動機フレーム   |
| 700:空隙        |             |               |

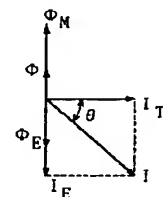
【図2】



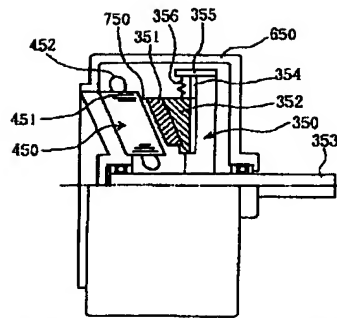
【図6】



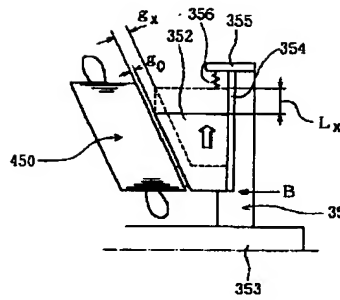
【図12】



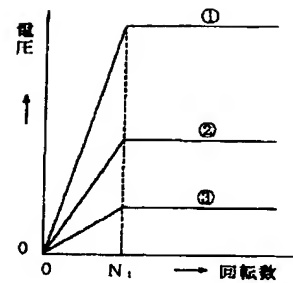
【図3】



【図4】

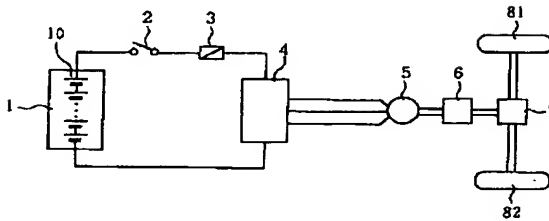


【図7】

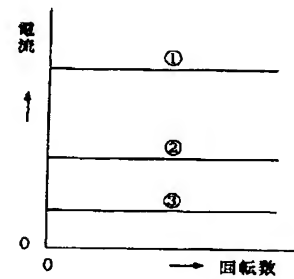


350:回転子 351:永久磁石 352:歯槽  
 353:回転子軸 354:滑動部 355:回転子端部  
 356:スプリング 450:固定子 451:固定子鉄心  
 452:固定子巻線 650:電動機フレーム 750:空隙

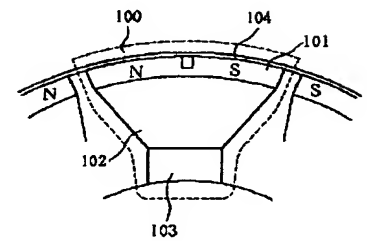
【図5】



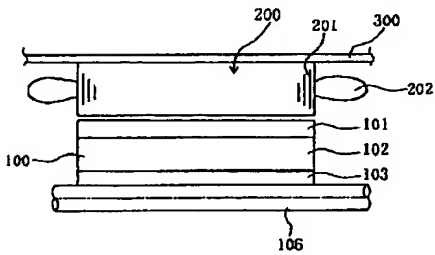
【図8】



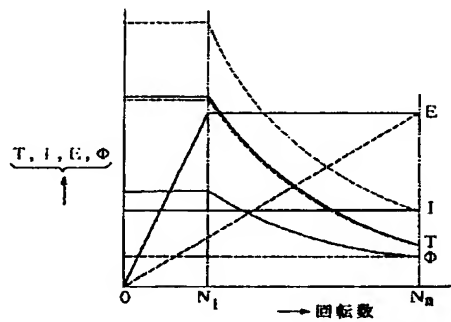
【図9】



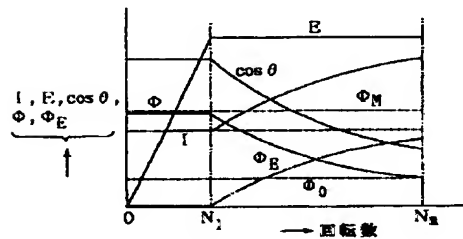
【図10】



【図11】



【図13】





フロントページの続き

(72) 発明者 伊藤 善夫  
神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号  
富士電機株式会社内

(72) 発明者 黒川 凱雄  
神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号  
富士電機株式会社内

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**